

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ ИНФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

Егорова Д.Д., Кубланов В.С.

(г. Екатеринбург, Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, egorova-dd@mail.ru)

NEW APPROACHES TO ANALYSIS OF INFORMATION CHARACTERISTICS OF HEART RATE VARIABILITY

Egorova D.D., Kublanov V.S.

В последнее время появились работы, в которых для анализа вариабельности сердечного ритма (BCP) применяются методы нелинейной динамики. Представляет интерес сопоставление оценок, получаемых при таком подходе, с данными спектрального анализа BCP при оценках адекватного уровня функционирования организма и его адапционных реакций, зависящих от функциональных резервов организма. При этих исследованиях требуется оценивать не только долговременные изменения вегетативной нервной системы, но и срочные, которые формируются с помощью функционально-нагрузочных проб, активирующих определенные физиологические изменения в организме.

В настоящей работе приведены данные исследования изменений BCP при пассивной ортоклиностатической нагрузке на группе из 83 практически здоровых пациентов в возрасте 20-22 года, при которой испытуемого из вертикального положения вновь переводят в горизонтальное с повторным исследованием тех же физиологических параметров. При спектральном анализе BCP применялся модифицированный комплексный вейвлет *Morlet*, представляющий собой сумму вейвлета *Morlet* $\psi(x) = e^{i\omega_0 x - \frac{x^2}{2}}$ и добавочной функции $\xi(x)$, которая является непрерывной, но не дифференцируемой, а интеграл от нее равен со знаком минус интегралу от вейвлета *Morlet* [1]. Для оценки характеристик неоднородностей BCP использованы параметры локальных дисфункций функционала $F\left[\frac{LF_{en}(t)}{HF_{en}}\right]$, определяемого

отношением скейлограмм спектральных мощностей, соответствующих частотным диапазонам дыхательных волн HF_{en} и медленных волн 1-го порядка LF_{en} . В качестве параметров, которые определяют информационное множество частотно-временных признаков BCP, выбраны количество дисфункций N , максимальное значение A_{max} их амплитуды и интенсивность на интервале наблюдения \tilde{A} . При классификации этого информационного множества применен метод кластеризация К-средними [2].

В таблице приведены параметры кластеров частотно-временных признаков BCP пациентов.

	Функциональный покой			Ортостатическая проба			Клиностатическая проба		
Кластеры	1	2	3	1	2	3	1	2	3
N	0.60	4.26	11.80	10.22	24.25	28.00	1.56	4.68	9.00
A	4.27	19.52	32.00	22.17	54.10	76.00	10.90	32.89	47.33
A_{max}	7.44	25.96	81.40	57.73	238.4	609.00	15.18	58.53	161.00
Количество пациентов	55	23	5	60	20	3	61	19	3

Анализ приведенных выше данных показывает, что дисфункции функционала $F\left[\frac{LF_{en}(t)}{HF_{en}}\right]$ сигналов BCP являются отражением вегетативного баланса; к 1 и 3 кластеру относятся пациенты, склонные к ваготонии и симпатикотонии, соответственно; ко 2 кластеру принадлежат пациенты, показатели которых условно можно отнести к норме. Наличие в ис-

следуемой группе большого количества пациентов 1 кластера можно объяснить тем, что большинство из них ведут здоровый образ жизни, занимаются спортом и поэтому имеют склонность к ваготонии. Таким образом, вейвлет-анализ сигналов ВСР с применением модифицированного вейвлета Morlet позволяет получать устойчивые кластерные оценки распределения данных ВСР пациентов независимо от стационарности процесса.

Если рассматривать ВНС как сложную динамическую систему с самоорганизацией иерархии достаточно автономных подсистем, в которой исходящие от верхнего уровня сигналы управления не имеют характера жестких команд, подчиняющих себе активность всех индивидуальных элементов более низких уровней, то для оценки информационных характеристик внутренней организации ВСР можно использовать методы нелинейной динамики систем с хаотическим поведением. В качестве параметров при таком подходе применяют корреляционную размерность, размерность фазового пространства, показатели Херста и фрактальной размерности [3].

Для этой же выборки пациентов были произведены расчеты показателей нелинейной динамики при помощи программы «Фрактан», разработанной Институтом Математических проблем биологии РАН (г.Пушино) [4]. Полученные результаты дают новые информационные данные о состоянии ВНС. В качестве иллюстрации рассмотрим некоторые примеры таких оценок.

1. Пациент А. В состоянии функционального покоя по характеристикам неоднородностей ВСР относится к 3 кластеру ($N=5$, $A=23$, $A_{max}=42$), т.е. имеет склонность к симпатикотонии. Показатели нелинейной динамики пациента имеют следующие значения: корреляционная размерность 7, размерность фазового пространства 6.60. При пассивном переходе из горизонтального в вертикальное состояние (ортостатическая нагрузка) параметры дисфункций перемещаются в 1 кластер ($N=15$, $A=29$, $A_{max}=67$). При этом значение корреляционной размерности увеличилось до 12, а размерности фазового пространства до 6.83. Можно предположить, что увеличение размерности фазового пространства и корреляционной размерности соответствует увеличению количества переменных, определяющих состояние многоуровневой динамической системы регуляции, т.е. увеличение количества включившихся в ответ на нагрузку компенсаторных механизмов. Переход из 3 в 1 кластер означает избыточное включение симпатико-адреналовой системы, отражает гиперадаптацию к гравитационным возмущениям, связанную с изменениями нервной регуляции. При переходе обратно в горизонтальное положение значение корреляционной размерности снизилось до 8, а размерности фазового пространства до 6,277. По показателям дисфункций пациент остался в 1 кластере, причем параметры дисфункций стали ниже, чем в состоянии функционального покоя ($N=2,00$; $A=13,00$; $A_{max}=14,00$), что подтверждает высокую возбудимость, инерционность и неустойчивость данной системы.

У таких пациентов наблюдается сильно выраженная волна перерегулирования и короткий переходной процесс, до 20сек (рис.1).



Рис. 1

2. Пациент Б. В состоянии функционального покоя он относится ко 2 кластеру по параметрам дисфункций ($N=4$, $A=17$, $A_{max}=26$), т.е. показатели близки к норме, и имеет корреляционную размерность 5.91 и размерность фазового пространства 9. При ортостатической нагрузке пациент по параметрам дисфункций остался во 2 кластере ($N=23$, $A=71$, $A_{max}=231$). При этом значение корреляционной размерности изменилось незначительно до 10, а размерности фазового пространства до 6,59. При клиностатической нагрузке значение корреляционной размерности снизилось до 7, а размерности фазового пространства до 5,01. По показателям дисфункций пациент

также остался во 2 кластере ($N=5$, $A=35$, $A_{max}=106$). Эти данные указывают на сбалансированность динамической системы и высокую способность к адаптации.

Такие пациенты характеризуются средневывраженной амплитудой волны перерегулирования и средней длиной переходного процесса длительностью порядка 30сек (рис.2).

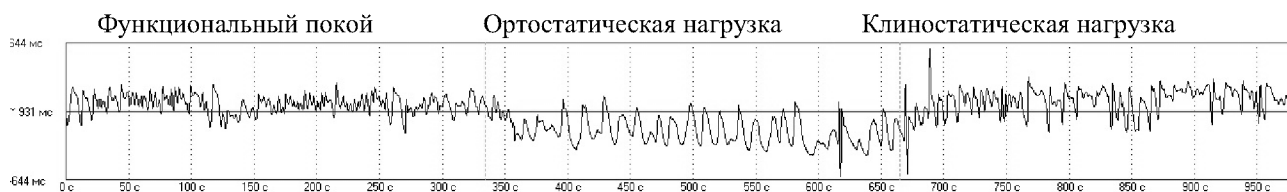


Рис. 2.

3. Пациент В. В состоянии функционального покоя он относится к 1 кластеру по параметрам дисфункций ($N=2$, $A=8$, $A_{max}=14$), т.е. наблюдается склонность к ваготонии, и имеет корреляционную размерность 6.2 и размерность фазового пространства 11. При ортостатической нагрузке пациент по параметрам дисфункций переместился в 3 кластер ($N=36$, $A=72$, $A_{max}=687$). При этом значение корреляционной размерности уменьшилось до 6, а размерности фазового пространства до 4.32. Можно заключить, что количество компенсаторных симпатических механизмов снижается, и система не успевает компенсировать воздействие, в результате чего показатели резко ухудшаются. При клиноstaticкой нагрузке значение корреляционной размерности осталось равным 6, а размерности фазового пространства 5.64. По показателям дисфункций пациент переместился во 2 кластер ($N=3$, $A=21$, $A_{max}=27$). Эти данные указывают на сниженную способность к адаптации, замедленность реакции на воздействия и низкую возбудимость из-за недостаточной активности симпатической нервной системы. Такие пациенты характеризуются отсутствием волны перерегулирования и длинным переходным процессом более 35-40сек (рис.3).



Рис. 3.

Все исследуемые сигналы имеют практически одинаковое значение показателя Херста и фрактальной размерности. Показатели Херста во всех реализациях более 0.5, что свидетельствует о персистентном характере сигнала ВСР.

Таким образом, на основании анализа сигнала ВСР при функционально-нагрузочных пробах с совместным использованием методов вейвлет-анализа и методов нелинейной динамики, а также, анализируя параметры переходного процесса, можно получить новые данные об адаптационных возможностях организма. Следует отметить, что применение методов нелинейной динамики для исследования сигналов ВСР в настоящее время имеет вполне определенный и значимый клинический интерес, однако, является еще малоизученной областью и требует детальной проработки.

Литература

1. Кубланов В.С., Костоусов В.Б., Казаков Я.Е., Попов А.А. Анализ variability сердечного ритма с применением вейвлет-анализа в задаче оценки адаптационных характеристик человека // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2008. – № 1-2. – С. 13-25
2. Наумкина Д.Д., Кубланов В.С. О некоторых информационных возможностях анализа variability сердечного ритма при переходных процессах / Variability сердеч-

ного ритма: Теоретические аспекты и практическое применение. Материалы V Всероссийского симпозиума с международным участием. – Ижевск: Издательство «Удмуртский университет», 2011. – С. 127-133

3. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы. – Ижевск.: Регулярная и хаотическая динамика, 2001. – 528 с.
4. Сайт ИМПБ РАН <http://www.impb.ru/files.php>

ОПЫТ ПОИСКА ТОЧЕК ОСНОВАНИЯ ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА СЕРДЦА НА ЭХОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

В.В. Зюзин, С.В. Поршнев, А.О. Бобкова

(Екатеринбург, Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б. Н. Ельцина, zvzuzin@gmail.com, sergey_porshnev@mail.ru, iconismo@gmail.com)

RETRIEVAL OF BASE POINTS FOR LEFT VENTRICLE CONTOURING

V.V. Zuzin, S.V. Porshnev, A.O. Bobkova

Одной из важных задач в области автоматизированной обработки видео и графических изображений, получаемых в медицинских исследованиях, является задача оконтуривания левого желудочка сердца на эхографических изображениях (рис. 1 и рис. 2). Задачу оконтуривания оказывается возможным свести к решению нескольких подзадач, одной из которых является поиск точек основания левого желудочка. Из рис. 2 видно, что от правильности нахождения данных точек, соединяемых затем прямой линией, зависит размер контура. На основе контура вычисляются его геометрические размеры, используемые кардиологами для оценки состояния сердечной мышцы пациента. Таким образом, задача правильного нахождения положения данных точек оказывается актуальной.

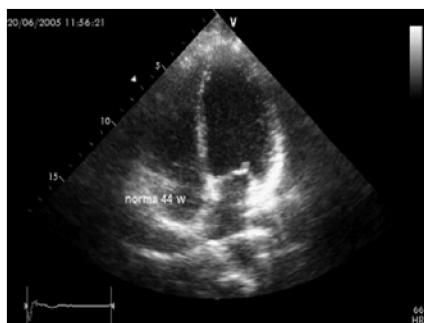


Рис. 1. Исходное изображение ЛЖ, полученное в результате ультразвукового исследования

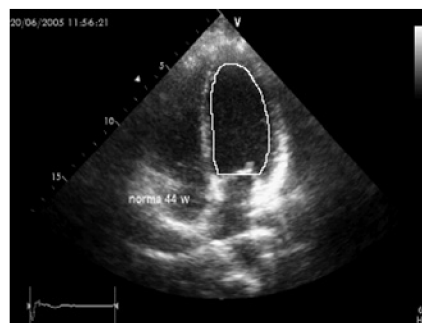


Рис. 2. Контур ЛЖ, обозначенный экспертом

Кадр УЗИ-изображения сердца представляет собой матрицу $S_{k,m}$, содержащую значения интенсивностей соответствующих точек изображения. На рис. 1 и рис. 2 видно, что выделяются четыре возможные контрастные области, соответствующие левой стенке, перегородке, сердечному клапану и правой стенке. (Отметим, что, наличие сердечного клапана, положение которого изменяется в течение сердечного цикла, оказывается фактором, существенно затрудняющим решение данной задачи.) Для нахождения координат точек, соответствующих данным тканям, можно использовать метод гистограмм освещенности, в соответствии с которым кадру УЗИ-изображения ставится некоторое множество ячеек, получаемое при его покрытии горизонтальными и вертикальными линиями (рис. 3).